



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**KONSTRUKCE SVĚŘÁKU PRO PĚTIOSÉ OBRÁBĚNÍ**

A DESIGN OF FIVE AXIS MACHINING CHUCK

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Štěpán Holec**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Jiří Tůma, Ph.D.**

**BRNO 2021**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Štěpán Holec**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Tůma, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Konstrukce svěráku pro pětiosé obrábění

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při upínání obrobku do stroje pro pětiosé frézování je vhodné použití vhodných upínačů. Je zde zejména důležitá tuhost, přesnost a síla upnutí, ale také je důležité zachovat kompaktní rozměry kvůli dosahu stroje při natočení 4. a 5. osy. Cílem této práce je návrh tohoto zařízení.

### Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti upínání obrobků při 5ti osém frézování.  
Nutné výpočty pro konstrukci vlastního návrhu.  
Konstrukční návrh v libovolném CAD software.  
Výkresová dokumentace vybraných dílů a sestavy.  
Závěr a doporučení pro praxi.

### Seznam doporučené literatury:

Roehm: NC CENTERING VICES [online], 2020. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <https://www.roehm.biz/en/products/vices/nc-centering-vices/>.  
Kipp: 5osé upínače KIPPFlexX [online], 2020. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz>.  
SMW Autoblok: GT5 5-Axis Machine Tools [online], 2020. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <http://www.stationary-workholding.com/index.php/en/eng-pro03>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá konstrukcí svěráku pro pětiosé obrábění. Úkolem bylo navrhnout samostředící svěrák pro pětiosé frézování. Práce dále obsahuje řešení v oblasti upínání obrobků při pětiosém obrábění a výběr významných výrobců těchto upínacích přípravků. V další části jsou obsaženy nutné výpočty pro konstrukci svěráku a návrh v CAD softwaru.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with construction for five-axis machining. Objective was to design self-centering vise for five-axis milling. Thesis then includes overview of five-axis clamping and selection of manufacturers these clamping jigs. Furthermore, it contains necessary calculations to design of self-centering vise and design in CAD software.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Svěrák pro pětiosé obrábění, pětiosé frézování, samostředící svěrák, návrh svěráku

## **KEYWORDS**

Chuck for five axis machining, five axis milling, self-centering vise, design of vise



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HOLEC, Štěpán. *Konstrukce svěráku pro pětiosé obrábění* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132369>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Tůma.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce panu doktorovi Jiřímu Tůmovi za cenné odborné rady a podmětné připomínky, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Taky bych chtěl poděkovat svým rodičům za projevenou trpělivost.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Tůmy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.05.2020

.....

Holec Štěpán



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>17</b>
2.1	Pětiosé frézování.....	17
2.2	Základní požadavky pro upínače .....	17
2.3	Možnosti upínání při pětiosém frézování .....	17
2.3.1	Mechanické upínače .....	17
2.3.2	Magnetické upínače .....	19
2.3.3	Vakuové upínače .....	19
2.4	Průzkum trhu.....	20
2.4.1	Röhm .....	20
2.4.2	Kipp .....	20
2.4.3	SMW Autoblok.....	21
2.4.4	WALMAG MAGNETICS .....	21
2.4.5	Raptor Workholding Products .....	22
2.4.6	Triag International .....	22
<b>3</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>23</b>
3.1	Volba základních parametrů .....	23
3.2	Volba typu samostředícího svěráku.....	23
3.3	Konstrukce svěráku.....	24
3.3.1	Svěrák .....	24
3.3.2	Základní těleso svěráku .....	24
3.3.3	Držák čelisti.....	25
3.3.4	Závitová hřídel.....	26
3.3.5	Čelist.....	26
3.3.6	Matice .....	27
3.3.7	Středová podpora .....	27
3.4	Návrh a kontrola druhu upínacího mechanismu .....	28
3.4.1	Návrh lichoběžníkové matice .....	28
3.4.2	Kontrola samosvornosti závitu .....	29
3.4.3	Kontrola příruby matice na otláčení .....	30
3.4.4	Kontrola příruby matice na stříh.....	30
3.4.5	Výpočet momentu potřebného pro upínání .....	31
3.4.1	Návrh závitové hřídele.....	31
3.4.2	Kontrola závitu na krut .....	32
3.4.3	Kontrola hřídele na vzpěr .....	32
3.4.4	Kontrola šroubového spoje mezi maticí a pohyblivou částí.....	33
3.4.5	Výpočet utahovacího momentu .....	37
<b>4</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK</b>	<b>43</b>
7.1	Seznam tabulek .....	43
7.2	Seznam obrázků.....	43



# 1 ÚVOD

Často v poslední době je potřeba vyrobit tvarově složitou součást s vysokým požadavkem na přesnost. Toho se dá dosáhnout pomocí pětiosého frézování, které nám také umožňuje zkrátit výrobní čas a vykonat několik frézovacích operací na jedno upnutí.

Po svěráku pro pětiosé frézování se vyžaduje bezpečné a pevné upnutí při co nejmenší hloubce upnutí, aby se mohl nástroj dostat co k největší ploše obrobku. Dále se po něm vyžaduje dobrá tuhost, přesnost a síla upnutí, ale také kompaktní rozměry kvůli natáčení kolem os. Svěrák je možné použít jak pro kusovou výrobu, tak i pro velké série. Kvůli své všestrannosti mohou být použity na širokou škálu obrobků.

V poslední době se pětiosé frézování využívá stále častěji, z tohoto důvodu se tato práce zaměří na návrh konstrukce svěráku pro pětiosé obrábění.

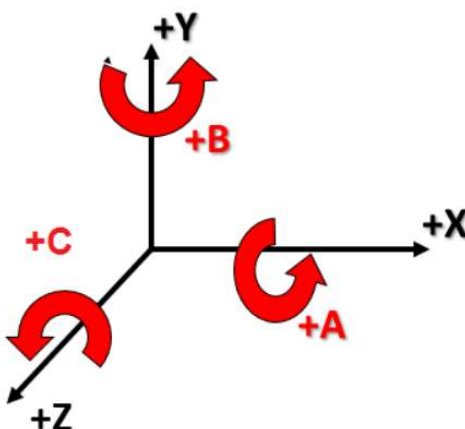




## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Pětiosé frézování

Při pětiosém frézování se využívají 3 lineární osy – X, Y, Z a dále se přidávají 2 rotační osy z A, B nebo C (obr. 1). Z hlediska kinematiky naklápění kolem rotačních os se realizuje natáčením vřeteníku, obrobku nebo rozdělením kinematiky mezi nástrojový a obrobkový systém. Dovoluje obrobení tvarově složitých výrobků za nižší časovou dobu a lepší kvalitu povrchu než s metodou tříosého obrábění.[1]



Obrázek 1 Souřadnicový systém [2]

### 2.2 Základní požadavky pro upínače

- nezachytávání třísek a jejich plynulý odvod
- jednoduchost obsluhy
- přesnost upnutí
- rychlost upínání obrobku
- tuhost upnutí
- kompaktní rozměry
- co největší plocha pro obrábění
- nízká váha přípravku

### 2.3 Možnosti upínání při pětiosém frézování

Upínače se můžou rozdělit na několik typů, a to na mechanické, vakuové a magnetické upínače. Obrobky tenkých tvarů nebo se sférickým povrchem bez možnosti vhodného upnutí se můžou upnout do upínače pomocí kotvící hmoty.

#### 2.3.1 Mechanické upínače

Pro upínání obrobků využívá se tvarového a silového styku.



## Strojní svěrák

Jsou to všestranné upínače vhodné jak pro jednoduché, tak pro složité obrobky. Pomocí hydraulického ovládání se dají použít pro automatizaci a hromadnou výrobu. Při použití vhodně tvarovaných čelistí, které jsou dle potřeby vyměnitelné, lze zlepšit přesnost polohy upnutí, bez nutnosti pokaždé nalézt nulový bod a tím dochází ke snížení upínacího času.

Pro pětiosé frézování se často používají samostředící svěráky, které dokážou upnout i válcovité obrobky. Významná změna oproti ostatním svěrákům spočívá v tom, že obě jejich čelisti jsou posuvné a při upínání se pohybují zároveň, díky rozdělení utahovacího šroubu na pravý a levý závit. To zajišťuje, že osa obrobku je v ose svěráku. [13][15]

### Upínač na principu nulového bodu

Jedná se o upínací hnízda skládající se z polohovacího čepu a upínacího modulu. Díky zachování polohy nulového bodu v pracovním prostoru stroje se značně zvyšuje opakovatelnost upnutí. Můžou se nejenom používat pro upínání obrobků, ale i pro upnutí samotných upínačů. Výhodou je nízká doba upínání. Možnost taky přesunout upínání mimo prostor pracovního stroje.[13]

### Rybinové svěráky

Tyhle svěráky u pětiosého frézování zaručují velkou tuhost při velmi malé upínací ploše, nízkým časem upínání a snadnou obsluhou. Nevýhodou je potřeba vyrobit rybinový spoj na obrobku.[15]

## **2.3.2 Magnetické upínače**

Využívají silového styku pro upnutí obrobků a tím nevznikají deformace od upnutí. Výhodou je možnost obrobit velkou část obrobku z pěti neupnutých stran, ale nevýhodou může být, že materiál musí mít dostatečnou magnetickou vodivost a obrobek je poté zmagnetizován, tím vzniká další operace odmagnetizování, která může být použita i k samotnému uvolnění obrobku. Podle typu magnetu se potom dělí na permanentní magnetické, elektromagnetické a elektro-permanentní magnetické upínače.

### Permanentní magnetické upínače

Využívají neodymové permanentní magnety, uspořádané do vícenásobných řad. Pomocí posuvu těchto magnetu se manipuluje s přídržnou silou a tím ovládat upínání.

### Elektromagnetické upínače

Fungují na principu vytváření magnetického pole kolem cívky, kterou prochází stejnosměrný elektrický proud. Pomocí ovládání síly elektrického proudu se potom ovládá upínací síla.

### Elektro-permanentní magnetické upínače

Využívají magnety, u kterých lze, pomocí krátkého proudového impulsu, změnit jejich chování a donutit je, aby se chovaly jako permanentní magnety nebo se tak přestaly.[12]

## **2.3.3 Vakuové upínače**

Tyto upínače taky využívají silového styku stejně jako magnetické, ale na rozdíl od nich nepotřebují materiál obrobku, aby byl magnetický. Díky typu upínání nevznikají žádné nežádoucí deformace. Vyžaduje se neporézní povrch upínací plochy. Používají se hlavně pro tenkostěnné obrobky s nízkou tuhostí.[14]

## 2.4 Průzkum trhu

Upínací přípravky pro pětiosé frézování nabízí velké množství firem. V této části se zaměřím pouze na stručný výčet několika českých a zahraničních firem, které nabízí upínače pro pětiosé obrábění.

### 2.4.1 Röhmm

Firma Röhmm nabízí několik druhů svěráků pro pětiosé obrábění. Například nabízené středící svěráky typu RZM (obr. 2). Jedná se o manuálně ovládané svěráky s čelistmi typu SKB. Pro upínací síly 20 až 25 kN, se šířkou čelistí činící 92 nebo 125 mm a maximální rozevření čelistí až 222 mm. Základní tělo svěráku je vyrobeno z oceli a výrobce zaručuje vysokou opakovatelnost při použití momentového klíče. [4]



Obrázek 2 NC středící svěrák RZM firmy Röhmm [5]

### 2.4.2 Kipp

Firma Kipp dodává hned několik typů upínací techniky pro pětiosé obrábění, a to svěráky a modulární upínače na principu nulového bodu. Firma taky nabízí širokou škálu příslušenství pro své výrobky.

Svěráky lze namontovat na stoly s T-drážkami, upínací systémy s nulovým bodem nebo na rastrové desky. Pro samostředící svěrák KIPPflexX (obr 3) se udává upínací výška 180 mm se šířkou čelistí 125 mm, výškou upnutí od 180 mm až po 200 mm a s redukční přesností upnutí  $\pm 0,01$ . [7]

Upínače na principu nulového bodu zaručují vysokou opakovatelnost a vysokou flexibilitu upínání díky modulární konstrukci. Pětiosé moduly UNI lock nabízejí o velikosti systému 50 mm, 80 mm a 138 mm pro maximální utahovací moment 30Nm. Při správném složení modulů je možno obrábět i 6. stranu. [8]



Obrázek 3 Upínač firmy Kipp KIPPflexX [7]

### 2.4.3 SMW Autoblok

Společnost SMW Autoblok dodává mnoho druhů upínací techniky. V nabídce pro pětiosé frézování pak nabízí například svěrák typu GT5 (obr. 4) se šířkou čelistí 100 mm, s rozevřením čelistí 100 až 200 mm, s kompaktními rozměry, možností upnutí do systému nulového bodu, pro maximální upínací síly 30kN a s minimální hloubkou upnutí 4 mm. [10]



Obrázek 4 Svěrák firmy SMW Autoblok pro pětiosé obrábění GT5 [10]

### 2.4.4 WALMAG MAGNETICS

Společnost WALMAG je český výrobce magnetických produktů určených na zvedání břemen, upínání obrobků a demagnetizaci. Pro upínání nabízejí permanentní, elektromagnetické a elektro-permanentní.

Pro pětiosé frézování firma doporučuje upínač Neopower (obr. 5). S maximální rozměry 400x400x63 je vhodný pro upínání velkých obrobků. Jedná se o permanentní magnetický upínač s možností upnout i nepravidelné povrchy součástí o maximální síle upnutí 160N/cm<sup>2</sup>. [11]



Obrázek 5 Magnetický upínač Neopower firmy WALMAG [11]

### 2.4.5 Raptor Workholding Products

Americká firma zaměřující se na upínací přípravky pro čtyřosé a pětiosé obrábění. Ve svých produktech nabízejí samostředící svěráky a velký výběr rybinových upínačů a jejich příslušenství (obr. 6) umožňující upnutí i čtyř obrobků najednou. Výrobce uvádí nejnižší upínací hloubku 3.175 mm (1/8 palce) pro maximální hmotnost obrobku 1,36 kg (3 lb).[16]



Obrázek 6 Upínací přípravek RWP-003-4X Raptor Nest[17]

### 2.4.6 Triag International

Švýcarský výrobce soustředící se na upínací techniku. Nabízejí několik upínacích prostředků, které lze využít pro pětiosé obrábění. Všechny jejich produkty jsou vysoce upravitelné a flexibilní a nabízejí i možnost na zakázku vyrobené upínací systémy. Například systém 5axesCLAMP (obr. 7) vytvořený speciálně pro pětiosé upínání s maximální upínací silou 30kN, s upínacím zdvihem 5 mm. Samostředící svěráky mohou být pneumaticky ovládané pro automatizaci anebo mohou využít principu nulového bodu při správné montáži.[18]



Obrázek 7 Modulární systém powerCLAMP [18]

### 3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

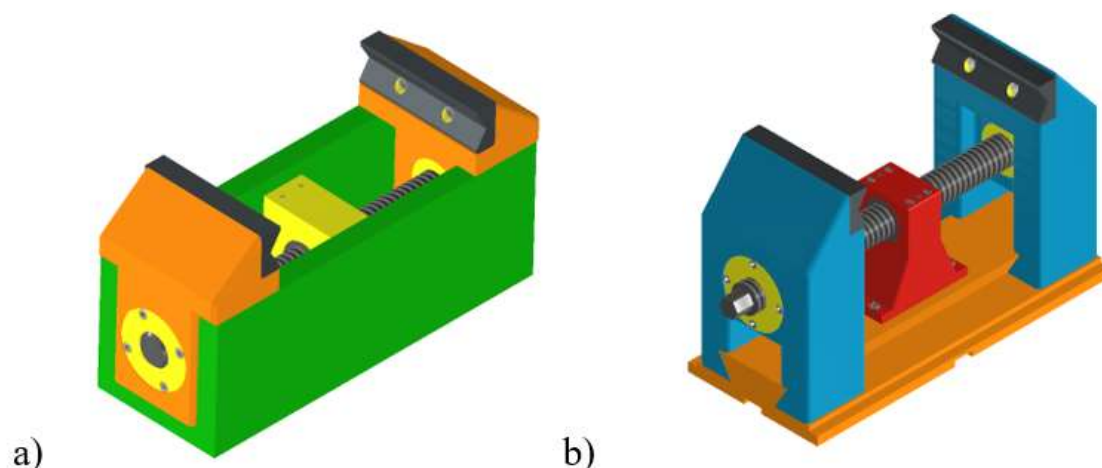
V této kapitole se budu věnovat návrhem samostředícího svěráku, výpočtu nutných parametrů a bezpečností. Pro svěrák je důležitá bezpečnost upnutí, jednoduchost obsluhy a nízká hmotnost při zachování vysokých upínacích částí. Důraz je dále kladen na možnost obrábění co největší plochy z pěti stran. Pak je ještě důležitá univerzálnost, pro možnost upnutí tvarově různých obrobků.

#### 3.1 Volba základních parametrů

Pro svěrák jsme si stanovili šířku čelistí  $A=125$  mm a jejich rozevření  $B=200$  mm. Dále byla vybrána upínací síla  $F_u=30$  kN. Má se jednat o samostředící svěrák určený pro pětiosé obrábění. Od těchto požadavků se dále odvíjí ostatní parametry a výpočty.

#### 3.2 Volba typu samostředícího svěráku

Z řešeršní části byly zvoleny dva konstrukční návrhy pro řešení cíle. První řešení je robustnější se zvýšenou ochranou proti vniknutí třísek a nečistotami, ale taky se zvýšenou hmotností celkové konstrukce, která byla vypočítána pomocí Inventoru 36 kg. Druhé řešení je otevřená konstrukce bez ochrany pro upínací šroub proti třískám a nečistotám, ale se snadnějším čištěním a nižší hmotností 32 kg.

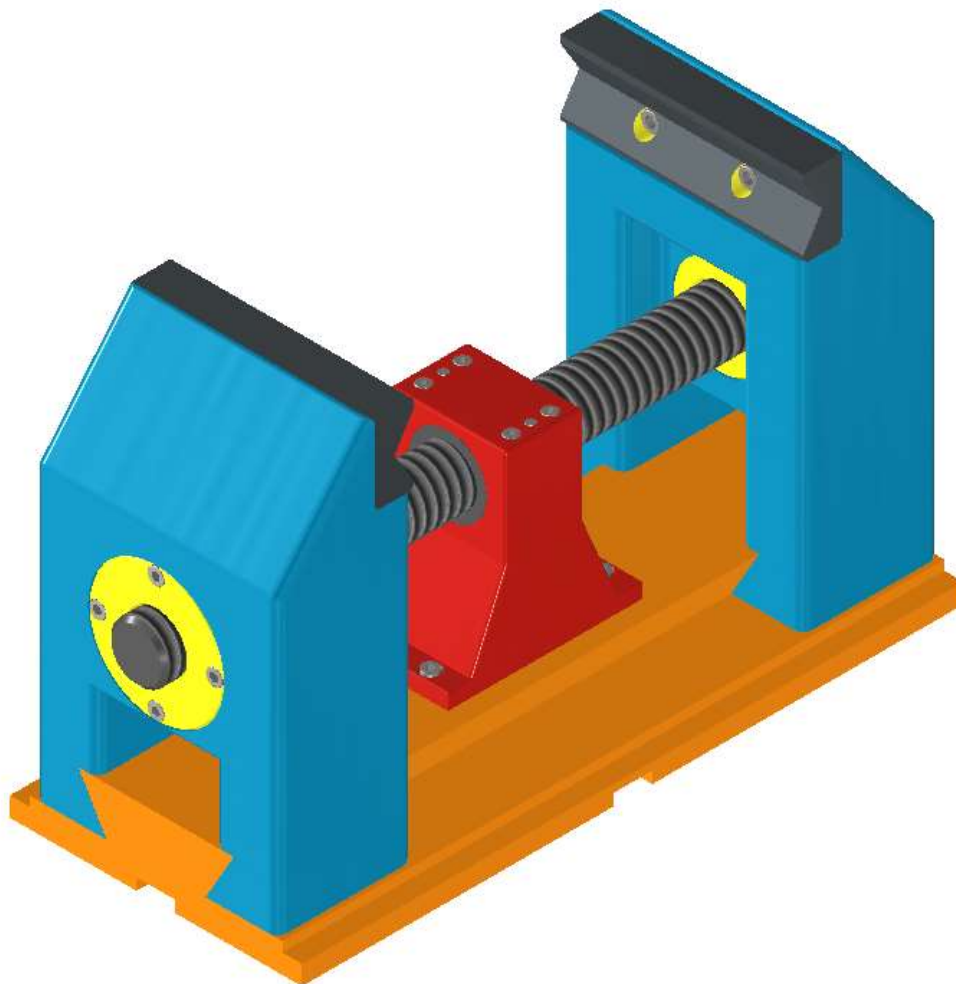


Obrázek 8 Typy konstrukčních řešení a) První řešení b) Druhé řešení

### 3.3 Konstrukce svěráku

#### 3.3.1 Svěrák

Pro samostředící svěrák byla zvolena druhá otevřená konstrukce pro snadnost odstranění třísek a snížení hmotnosti (viz obr. 8). Upínací výška 185 byla zvolena kvůli snadnějšímu přístupu ke pěti stranám obrobku.



Obrázek 9 Model svěráku

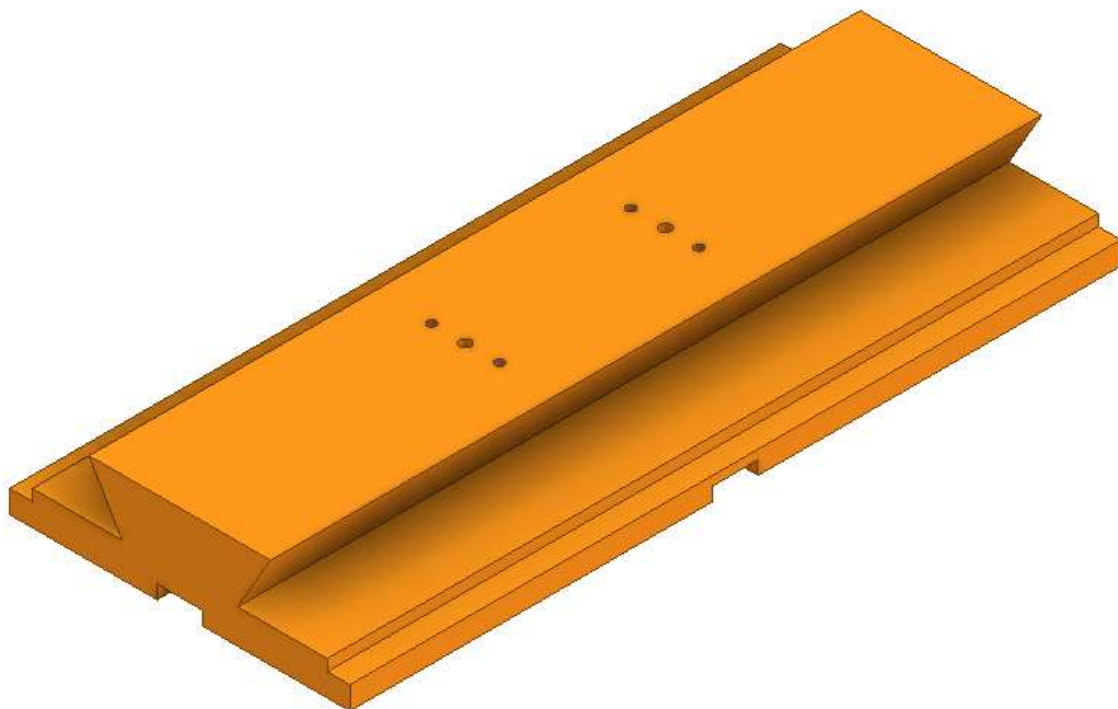
#### 3.3.2 Základní těleso svěráku

Základní těleso slouží k ustanovení středové podpory a držáku čelisti. Vrchní část slouží k vedení držáku čelisti, a proto je kalena pro zvýšení životnosti svěráku. Byl zvolen tvar rybinového vedení za účelem lepšího vedení a tím zvýšení životnosti upínače. Na střed těla základny se přimontuje středová podpora, kde se uloží závitový hřídel. (viz obr. 9).

Základna je navržena pro možnost upnutí ke stolu frézky pomocí upínek. Dále se upevňuje k otočnému stolu pomocí středícího čepu a pro usnadnění přesného ustavení jsou v tělese drážky pro šroub T-drážky.

Materiál základního tělesa byla zvolena kuličková litina třídy EN-GJS-400, jež vlastní vysokou tuhost, dobré kluzné vlastnosti a schopnost tlumit vibrace, která je důležitá pro tělesa svěráků. Kvůli rozměrům a tvaru tělesa polotovár bude odlitek.



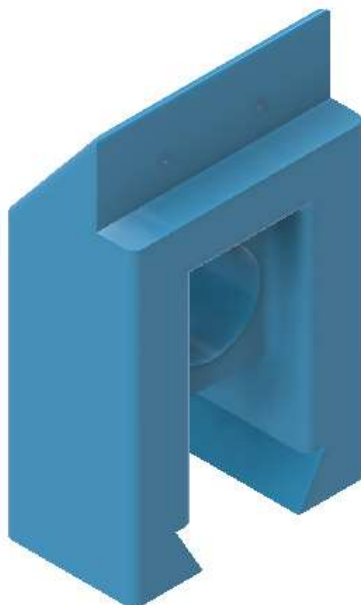


Obrázek 10 Základní těleso

### 3.3.3 Držák čelisti

Držák čelisti se posouvá po základním tělese pomocí šroubového pohybového mechanismu lichoběžníkové matice, která je k němu pevně spojená šrouby s válcovou hlavou. Ta je umístěna blízko k upínacím čelistem kvůli zvýšení tuhosti upnutí obrobku. Samotné čelisti jsou upnuté k držáku pomocí šroubů. Tvar samotného držáku a poloha čelistí jsou navrhovány pro velkou výšku upnutí.

Oba držáky na protilehlých stranách jsou stejného tvaru (obr. 10). Jediným rozdílem je typ matice přišroubované uvnitř těla. Pro materiál držáku byla zvolena ocel třídy E360.

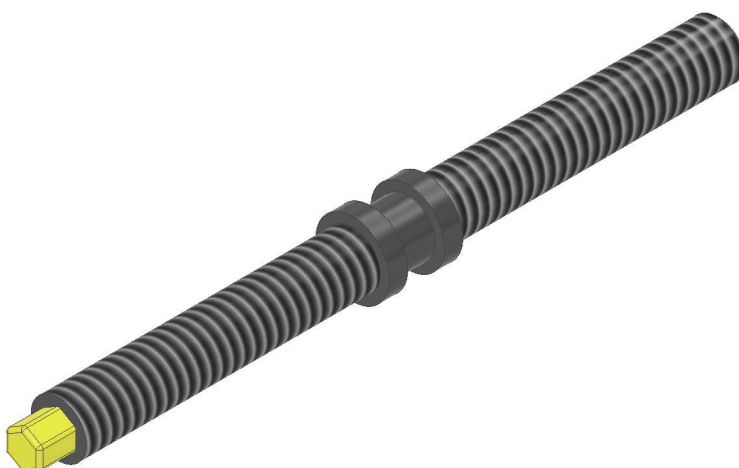


Obrázek 11 Držák čelisti

### 3.3.4 Závitová hřídel

Hřídel nám slouží k vyvození upínací síly na obrobek od momentu, k tomu využíváme posuvového závitu typu lichoběžníkového rovnoramenného z oceli. Ten je na jedné části pravotočivý a na druhé levotočivý tím nám zajišťuje stejný pohyb držáků čelistí směrem ke středu svěráku.

Uprostřed je rotačně uložen ke středové podpoře. Na straně s pravotočivým závitem je umístěn šestihran pro vytvoření potřebného upínacího momentu přes momentový klíč (žlutá část na obr. 11).

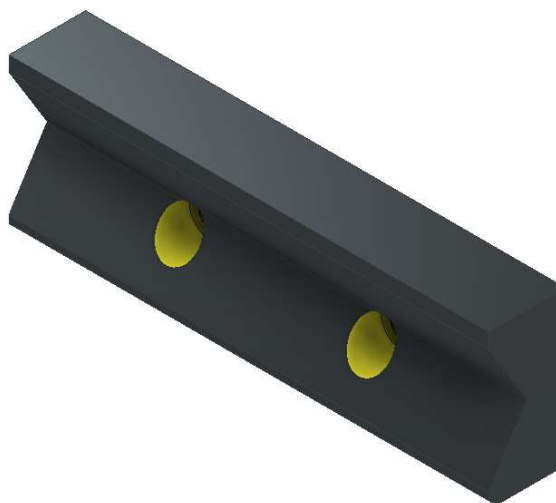


Obrázek 12 Závitová hřídel

### 3.3.5 Čelist

Čelisti, pro tento typ konstrukce, jsou vyměnitelná destička s prizmatickou drážkou pro možnost upnutí i válcových obrobků. Podle materiálu obrobku a jeho velikosti se čelisti můžou vyměnit, aby co nejlépe plnili svůj účel. Mnoho výrobců prodává čelisti pro stanovenou šířku 125 mm, případně pokud žádná nebude vyhovovat tak se může navrhnout. Čelisti často bývají

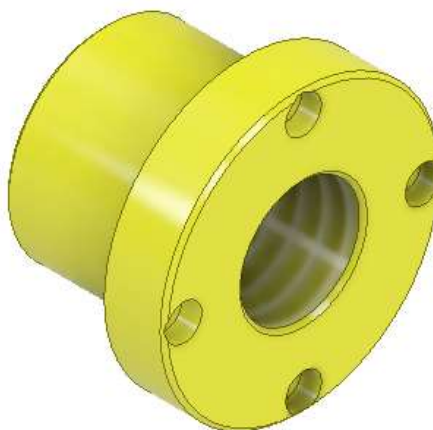
z materiálu třídy 19 a jsou kalena na zvýšení tvrdosti. Pro tuto konstrukci jsem zvolil čelist materiálu 19 313 a kalenou na HRC 60(obr. 12).



Obrázek 13 Čelist

### 3.3.6 Matice

Pro vytvoření posuvu držáku čelisti jsem vybral bronzovou matici schopnou vydržet upínací sílu 30kN. Materiál byl zvolen na základě častého používání. Tvar matice byl zvolen přírubový pro možnost upnutí s držákem čelistí přes šrouby (obr. 13). V sestavě jsou skoro dvě skoro stejné matice s jediným rozdílem točivosti závitu.

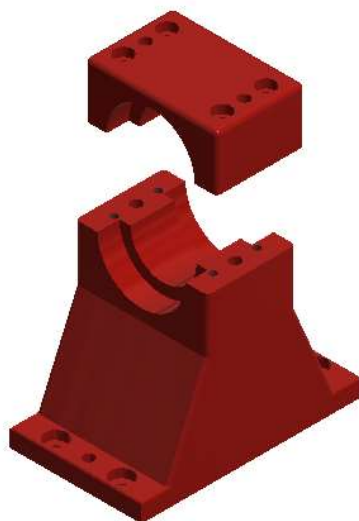


Obrázek 14 Přírubová matice

### 3.3.7 Středová podpora

Slouží k ustanovení závitové hřídele vzhledem k základnímu tělesu. Ta je v ní nasazena uprostřed a zajištěna vůči axiálnímu posunutí pomocí svého tvaru. Dále je zajištěn pomocí příložky, která je ke středové podpoře přišroubována a zajištěna kolíky. Samotná podpora je

k základnímu tělesu taky přišroubována a zajištěna kolíky. Směrem dolů je potom rozšířena k zajištění větší stability. Materiál byl zvolen E360.



Obrázek 15 Středová podpora

### 3.4 Návrh a kontrola druhu upínacího mechanismu

Pro samostředící svěrák se využívá závitová hřídel rozdělená na dvě části, a to část s pravotočivým závitem a levotočivým závitem. Pro mé konstrukční řešení jsem zvolil lichoběžníkový rovnoramenný jednochodý závit Tr30x6 DIN 103 (tabulka 3-1). Materiál šroubu byla zvolena ocel a materiál matice bronz.

Tabulka 3-1 Rozměry lichoběžníkového závitu Tr30x6[20]

Symbol	Parametr	Jednotka	Velikost
d	Jmenovitý průměr	[mm]	30
P	Rozteč	[mm]	6
$\alpha$	Úhel profilu	[°]	30
d	Velký průměr šroubu	[mm]	30
d <sub>3</sub>	Malý průměr šroubu	[mm]	23
d <sub>2</sub>	Střední průměr závitu	[mm]	27
D <sub>4</sub>	Velký průměr matice	[mm]	31,5
D <sub>1</sub>	Malý průměr matice	[mm]	24

#### 3.4.1 Návrh lichoběžníkové matice

Pro materiál matice jsem zvolil obvykle používaný materiál cínovou bronz CW453K s materiálovými vlastnostmi uvedenými v tabulce 3-2.

Tabulka 3-2 Mechanické vlastnosti CW453K [21]

Symbol	Parametr	Jednotka	Velikost
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti	[MPa]	450
R <sub>e</sub>	Mez kluzu	[MPa]	300
ρ	Hustota	[kg.m <sup>-3</sup> ]	8800
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]	115000

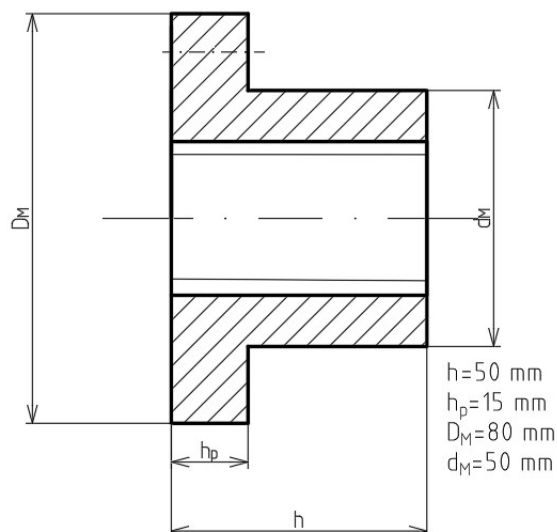
Dále vypočítám minimální délku matice ze vztahu pro kontrolu na otláčení. Dovolný tlak p<sub>D</sub> volím pro kombinaci materiálů ocel-bronz 17MPa a zbytek parametrů z tabulek 3-1 a 3-2 [22]

$$p_D = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot \frac{h}{P} \cdot \frac{d - D_1}{2}} \rightarrow h_{min} = \frac{F_u \cdot P}{p_D \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{(d - D_1)}{2}} \quad (1)$$

$$h_{min} = \frac{30000 \cdot 6}{17 \cdot \pi \cdot 27 \cdot \frac{(30 - 24)}{2}}$$

$$h_{min} = 41,61 \text{ mm}$$

Pro svoji matici volím délku h=50 mm. Dále volím spojení s posuvným tělesem přes tři šrouby M5x20 viz obr. 8.



Obrázek 16 Rozměry trapézové matice

### 3.4.2 Kontrola samosvornosti závitu

Pro zajištění bezpečnosti upnutí je potřeba zajistit samosvornost matice. Součinitel tření jsem vybral pro materiálovou dvojici ocel a bronz předpokládaný provoz za sucha f=0,15 z tabulky 3-3.

Tabulka 3-3 Součinitele tření v závitech pro různé dvojice materiálů [22]

Materiál šroubu	Materiál matice			
	ocel	bronz	mosaz	litina
Ocel za sucha	0,15-0,25	0,15-0,23	0,15-0,19	0,15-0,25
Ocel, závity naolejovány	0,11-0,17	0,10-0,16	0,10-0,15	0,11-0,17
bronz	0,08-0,12	0,04-0,06	-	0,06-0,09

$$\pi \cdot f \cdot d_2 > P \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (2)$$

$$\pi \cdot 0,1 \cdot 27 > 6 \cdot \cos\left(\frac{30}{2}\right)$$

$$8,482 > 5,795$$

Podmínka samosvornosti byla dodržena.

### 3.4.3 Kontrola příruby matice na otlačení

Kontrola příruby matice na otlačení  $p_M$ . Parametry použité při výpočtu viz obr. 8 a hodna mezi kluzu  $R_e$  z tabulky 3-2.

$$S_{oM} = \frac{D_M^2 - d_M^2}{4} \quad (3)$$

$$S_{oM} = \frac{80^2 - 50^2}{4}$$

$$S_{oM} = 975 \text{ mm}^2$$

$$p_M = \frac{F_{up}}{S_{oM}} \quad (3)$$

$$p_M = \frac{30000}{975}$$

$$p_M = 30,759 \text{ MPa}$$

$$p_M < R_e$$

Kontrola na otlačení vyhovuje.

### 3.4.4 Kontrola příruby matice na střih

Kontrola příruby matice na smyk  $\tau_M$

$$S_{sM} = \pi \cdot d_M \cdot h_p \quad (4)$$

$$S_{sM} = \pi \cdot 50 \cdot 15$$

$$S_{sM} = 2356,194 \text{ mm}^2$$

$$\tau_M = \frac{F_{up}}{S_{sM}} \quad (5)$$

$$\tau_M = \frac{30000}{2356,194}$$

$$\tau_M < R_e$$

Kontrola na stříh vyhovuje.

### 3.4.5 Výpočet momentu potřebného pro upínání

Maximální upínací moment  $M_{up}$  se vypočítá pomocí stanovené maximální upínací síly 30kN a parametrů závitu z tabulky 3-1. Upínací moment se dále využije pro pevnostní výpočtu závitového hřídele.

$$M_{up} = \frac{F_u \cdot d_2}{2} \cdot \frac{P \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi \cdot f \cdot d_2}{\pi \cdot d_2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f \cdot P} \quad (6)$$

$$M_{up} = \frac{30 \cdot 27}{2} \cdot \frac{6 \cdot \cos\left(\frac{30}{2}\right) + \pi \cdot 0,15 \cdot 27}{\pi \cdot 27 \cdot \cos\left(\frac{30}{2}\right) - 0,15 \cdot 6}$$

$$M_{up} = 92,558 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Pro samotné utahování je doporučeno používat momentového klíče pro usnadnění a zrychlení upínání taky pro zabránění nedostatečného utažení, riskujícího uvolnění obrobku, nebo naopak nadměrného, které může poškodit části svěráku nebo samotný obrobek. V tabulce 3-4 je uvedena velikost upínacího momentu pro různé upínací síly.

Tabulka 3-4 Závislost upínací síly a momentu

Upínací síla [kN]	Upínací moment [Nm]
30	92,558
25	77,131
20	61,705
15	46,278
10	30,852

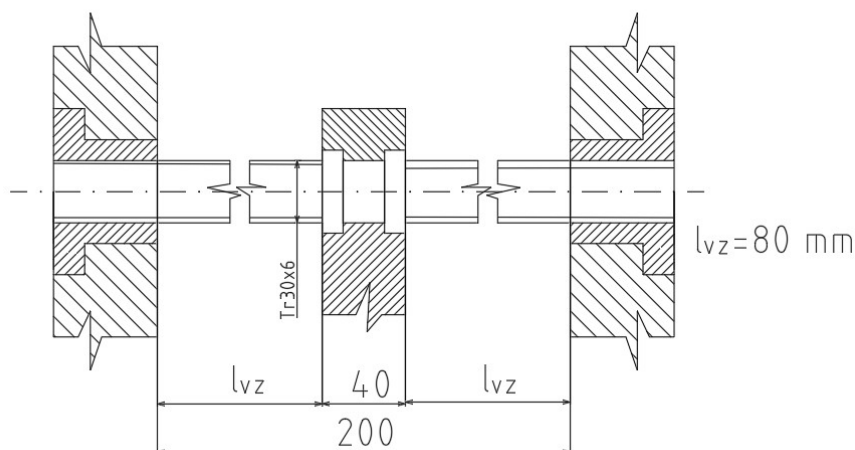
### 3.4.1 Návrh závitové hřídele

Pro závitovou hřídel jsem zvolil materiál oceli C55E.

Tabulka 3-5 Mechanické vlastnosti C55E [20]

Symbol	Parametr	Jednotka	Velikost
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]	850
$R_e$	Mez kluzu	[MPa]	380
$\rho$	Hustota	[kg.m <sup>-3</sup> ]	7850
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]	210000

Závitová hřídel je uložena k základní desce pomocí středové podpory. Závitové části jsou v příslušných lichoběžníkových maticích, které jsou namontované na pohyblivá těla s čelistmi tím umožňuje současný pohyb obou čelistí viz obrázek 9.



Obrázek 17 Délkové rozměry závitu pro výpočet

### 3.4.2 Kontrola závitu na krut

Po celém délce závitu působí upínací krouticí moment, vypočítaný v předchozím kroku, na tyč. Cílem je vypočítat smykové napětí  $\tau_K$  k nejmenšímu průměru a porovnat ho vůči mezi kluzu materiálu šroubu. Malý průměr  $d_3$  zjistím z tabulky 3-1.

$$\tau_K = \frac{16 \cdot M_{up}}{\pi \cdot d_3} \quad (7)$$

$$\tau_K = \frac{16 \cdot 92,558}{\pi \cdot 23}$$

$$\tau_K = 20,495 \text{ MPa}$$

$$\tau_K < R_e$$

Kontrola na krut byla splněna.

### 3.4.3 Kontrola hřídele na vzpěr

Kvůli délce volné části závitu při plném rozevření čelistí se hřídel bude kontrolovat. Potřebné parametry jsou uvedeny v obrázku 9 a v tabulce 3-1. Pro typ uložení jsem zvolil součinitel způsobu uložení  $\beta=1$  a modul pružnosti v tahu pro ocel  $E=210\text{GPa}$ . [20]

Polární moment:

$$J_p = \frac{\pi \cdot d_3^4}{64} \quad (8)$$

$$J_p = \frac{\pi \cdot 23^4}{64}$$

$$J_p = 13736,66 \text{ mm}^4$$

Nejmenší průřez závitu:

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \quad (9)$$



$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}$$

$$S_3 = \frac{\pi \cdot 23^2}{4}$$

$$S_3 = 415,78 \text{ mm}^2$$

Poloměr setrvačnosti průřezu prutu:

$$i = \sqrt{\frac{J_p}{S_3}} \quad (10)$$

$$i = \sqrt{\frac{13736,66}{415,78}}$$

$$i = 5,75 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda = \frac{l_{zv}}{i} \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{80}{5,75}$$

$$\lambda = 13,91$$

Štíhlost prutu je menší než mezní štíhlost prutu pro oceli  $\lambda_m = 105$  [20], počítám kontrolu pro pruty střední délky. [25]

Kritická síla:

$$F_{KR} = R_e \cdot S_3 - \left( \frac{R_e \cdot l_{vz}}{2 \cdot \pi \cdot i} \right)^2 \cdot \frac{S_3}{\beta \cdot E} \quad (12)$$

$$F_{KR} = 380 \cdot 415,78 - \left( \frac{380 \cdot 80}{2 \cdot \pi \cdot 5,75} \right)^2 \cdot \frac{415,78}{1 \cdot 2,1 \cdot 10^5}$$

$$F_{KR} = 154 \text{ kN}$$

Bezpečnost vůči vzpěru:

$$k_{VZ} = \frac{F_{KR}}{F_{up}} \quad (13)$$

$$k_{VZ} = \frac{154}{30}$$

$$k_{VZ} = 5,13$$

Bezpečnost je dostatečně velká.

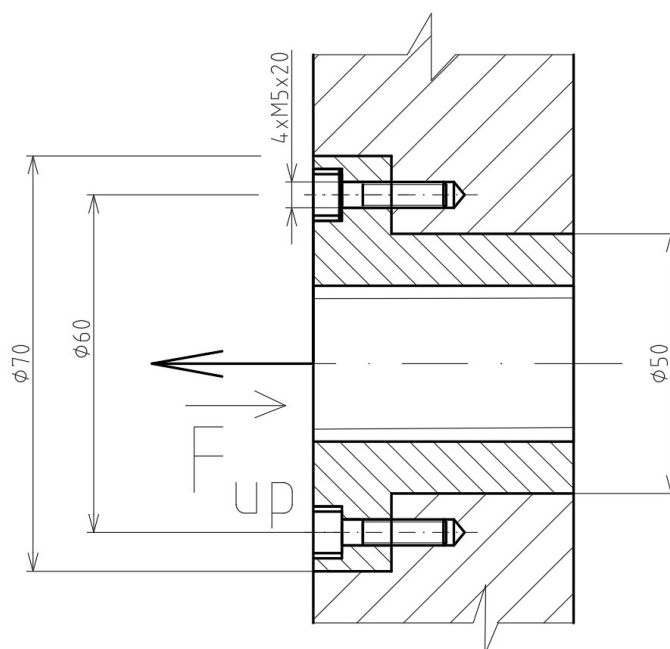
### 3.4.4 Kontrola šroubového spoje mezi maticí a pohyblivou částí

Pro upnutí matice jsem zvolil šrouby 4xM5x20-12.9 DIN 912.

Tabulka 3-6 Parametry šroubu M10x20[22]

Symbol	Parametr	Jednotka	Velikost
$S_p$	Zkušební napětí	[MPa]	970
$A_s$	Jmenovitý průměr závitu	[mm <sup>2</sup> ]	14,2
$S_d$	Nejmenší průměr závitu	[mm <sup>2</sup> ]	12,7
$l_z$	Délka části závitu	[mm]	16
$l_D$	Délka dříku	[mm]	4

Šrouby jsou rovnoměrně umístěné po obvodu příruby a spojují matici s pohyblivou částí svěráku a jsou zatěžovány od upínací síly, jak je popsáno v obrázku 10.



Obrázek 18 Spojení matice s pohyblivou částí svěráku

Síla na jeden šroub:

$$F_r = \frac{F_{up}}{i} \quad (14)$$

$$F_r = \frac{30000}{4}$$

$$F_r = 7500 \text{ N}$$

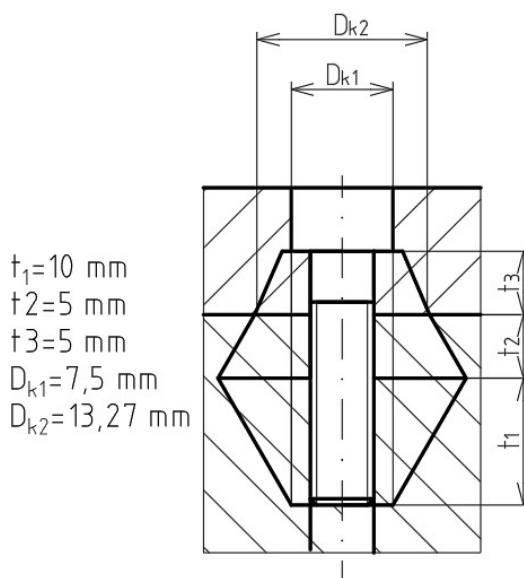
Spojovací část šroubu z ocele s modulem pružnosti  $E=210 \text{ GPa}$  [20], je rozdělena na dvě části, a to část se závitem o délce  $l_z=16 \text{ mm}$  a část dříku o délce  $l_d=4 \text{ mm}$ . Celková tuhost šroubu se potom vypočítá zkombinování tuhostí těchto dvou částí a zbytek potřebných parametrů je uveden v tabulce 3-6.

$$k_s = \frac{S_d \cdot A_s \cdot E}{S_d \cdot l_z + A_s \cdot l_d} \quad (15)$$

$$k_s = \frac{12,7 \cdot 14,2 \cdot 210000}{12,7 \cdot 16 + 14,2 \cdot 4}$$

$$k_s = 145\,659 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Tuhost spojovaných částí se počítá pomocí tlakového dvojkuželu (obr. 11). Pro část z ocele předpokládám vrcholový úhel  $\alpha_K=30^\circ$ , ale pro část z bronzu jsem nenašel zdroj pro  $\alpha_K$  tak jsem musel použít aproximaci. [22]



Obrázek 19 Tlakový dvojkužel spojovaný částí

$$D_{k2} = D_{k1} + 2 \cdot t_3 \cdot \tan \alpha_K \quad (16)$$

$$D_{k2} = 7,5 + 2 \cdot 5 \cdot \tan 30^\circ$$

$$D_{k2} = 13,27 \text{ mm}$$

Tuhost po délce  $t_1$ :

$$k_{p1} = \frac{0,5774 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{\ln \left( \frac{(1,155 \cdot t_1 + D_{k1} - d_j) \cdot (D_{k1} + d_j)}{(1,155 \cdot t_1 + D_{k1} + d_j) \cdot (D_{k1} - d_j)} \right)} \quad (17)$$

$$k_{p1} = \frac{0,5774 \cdot \pi \cdot 210000 \cdot 5}{\ln \left( \frac{(1,155 \cdot 10 + 7,5 - 5) \cdot (7,5 + 5)}{(1,155 \cdot 10 + 7,5 + 5) \cdot (7,5 - 5)} \right)}$$

$$k_{p1} = 1\,776\,852 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Tuhost po délce  $t_2$ :

$$k_{p2} = \frac{0,5774 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{\ln \left( \frac{(1,155 \cdot t_2 + D_{k2} - d_j) \cdot (D_{k2} + d_j)}{(1,155 \cdot t_2 + D_{k2} + d_j) \cdot (D_{k2} - d_j)} \right)} \quad (18)$$

$$k_{p2} = \frac{0,5774 \cdot \pi \cdot 210000 \cdot 5}{\ln \left( \frac{(1,155 \cdot 5 + 13,27 - 5) \cdot (13,27 + 5)}{(1,155 \cdot 5 + 13,27 + 5) \cdot (13,27 - 5)} \right)}$$

$$k_{p2} = 7\,470\,247 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Konstanty pro aproximaci tuhosti bronzové matice [22]

$$A = 0,78952$$

$$B = 0,62914$$

Tuhost po délce  $t_3$ :

$$k_{p3} = E \cdot d_j \cdot A \cdot e^{\frac{B \cdot d_j}{t_3}} \quad (19)$$

$$k_{p3} = 115000 \cdot 5 \cdot 0,78952 \cdot e^{\frac{0,62914 \cdot 5}{5}}$$

$$k_{p3} = 851\,653 \, N \cdot mm^{-1}$$

Celková tuhost spojovaných součástí:

$$\frac{1}{k_p} = \frac{1}{k_{p1}} + \frac{1}{k_{p2}} + \frac{1}{k_{p3}} \rightarrow k_p = \frac{k_{p1} \cdot k_{p2} \cdot k_{p3}}{k_{p2} \cdot k_{p3} + k_{p1} \cdot k_{p3} + k_{p1} \cdot k_{p2}} \quad (20)$$

$$k_p = \frac{1\,776\,852 \cdot 7\,470\,247 \cdot 851\,653}{7\,470\,247 \cdot 851\,653 + 1\,776\,852 \cdot 851\,653 + 1\,776\,852 \cdot 7\,470\,247}$$

$$k_p = 534\,517 \, N \cdot mm^{-1}$$

Tuhostní konstanta:

$$C = \frac{k_s}{k_s + k_p} \quad (21)$$

$$C = \frac{145659}{145659 + 534157}$$

$$C = 0,214$$

Konstanta pro předpětí se pohybuje mezi  $0,65 \div 0,9$ . Zkušební napětí z tabulky 3-6:

$$\sigma_{př} = 0,7 \cdot S_p \quad (22)$$

$$\sigma_{př} = 0,7 \cdot 970$$

$$\sigma_{př} = 679 \, MPa$$

Síla předpětí:

$$F_i = \sigma_{př} \cdot A_s \quad (23)$$

$$F_i = 679 \cdot 14,2$$

$$F_i = 9641,8 \, N$$

Celková síla působící na šroub:

$$F_s = F_i + C \cdot F_r \quad (24)$$

$$F_s = 9641,7 + 0,214 \cdot 7500$$

$$F_s = 11\,246,8 \, N$$

Napětí působící na šroub:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_s} \quad (25)$$

$$\sigma_s = \frac{11\,246,8}{14,2}$$

$$\sigma_s = 792,28 \, MPa$$

Kontrola bezpečnosti vůči MSP:

$$k_s = \frac{S_p}{\sigma_s} \quad (26)$$

$$k_s = \frac{970}{792,28}$$

$$k_s = 1,228$$

Součinitel bezpečnosti vůči MSP vyhovuje.

Kontrola na zánik spoje:

$$k_0 = \frac{F_i}{F_r \cdot (1 - C)} \quad (27)$$

$$k_0 = \frac{9641,8}{7500 \cdot (1 - 0,214)}$$

$$k_0 = 1,63$$

Kontrola na zánik spoje vyhovuje.

Kontrola na otláčení pro šroub třídy pevnosti 12.9 a ocelovou maticí má dovolený tlak  $p_D=250$  MPa [22] a hodnoty potřebné pro výpočet závitu M5 najdu v tabulce 3-7 a délka závitu na šroubu byla uvedena v tabulce 3-6.

Tabulka 3-7 Parametry závitu M5[20]

Symbol	Parametr	Jednotka	Velikost
d	Jmenovitý průměr	[mm]	5
P	Rozteč	[mm]	0,8
d <sub>2</sub>	Střední průměr závitu	[mm]	4,675
D <sub>1</sub>	Malý průměr matice	[mm]	4,459

$$p = \frac{2 \cdot F_s \cdot P}{\pi \cdot d_2 \cdot l_z \cdot d(-D_1)} \quad (28)$$

$$p = \frac{2 \cdot 11246,8 \cdot 0,8}{\pi \cdot 4,675 \cdot 16 \cdot (5 - 4,459)}$$

$$p = 141,547 \text{ MPa}$$

$$p < p_D$$

Kontrola na otláčení splněna.

### 3.4.5 Výpočet utahovacího momentu

Součinitel utahovacího momentu zvolen  $K=0,2$ . [22]

$$M_{u\dot{s}} = K \cdot F_i \cdot d_j \quad (29)$$

$$M_{u\dot{s}} = 0,2 \cdot 9641,8 \cdot 5$$

$$M_{u\dot{s}} = 9,641 \text{ Nm}$$

## 4 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Původní konstrukční návrhy svěráku byl zvoleny podle průzkumu trhu, vybrána ekonomičtější varianta a poté byl upravován, aby se docílilo zadaných parametrů. Následně byly kritické části podrobeny kontrolním výpočtům, které měly zajistit bezpečnost přípravku a neohrozili tak stroj nebo hůř obsluhu. Z návrhu upínacího šroubu a matice se potom odvíjely návrhy pro ostatní konstrukce zbylých součástí. Důležitá byla schopnost držáku čelisti se posouvat spolu s maticí s dostatečnou bezpečností, aby vydržely maximální upínací sílu 30kN. Proto byl navržen šroubový spoj mezi těmito součástmi dostatečně tuhý, aby vydržel i nejtěžší provoz.

Tvary jednotlivých součástí a samotná konstrukce byla, zvolena pro zadané parametry pro šířku čelistí 125 mm a maximální rozevření 200 mm tak, aby váha a délka samostředícího svěráku byla porovnatelná s nabídkou od výrobců zabývajících se těmito upínacími přípravky. Délka svěráku pro danou konstrukci je 340 mm a hmotnost podle výpočtového programu Inventoru vyšla 30 kg, což je podobá ostatním výrobkům podobných rozměrů.

Maximální upínací moment byl spočten 92,6 Nm, byly i spočteny, a zaznamenány v tabulce 3-4, momenty pro menší upínací síly pro možnost upnutí různých materiálů obrobků, aby nehrozilo jejich poškození. Pro utahování je nejlepší použít momentový klíč pro přesné vyvození potřebného momentu.

## 5 ZÁVĚR

Hlavní úkolem této práce bylo navrhnutí samostředícího svěráku pro pětiosé frézování. V první části byla zhotovena rešerše v oblasti pětiosého upínání obrobků. To se skládá z krátkém pojednání o pětiosém frézování a požadavků pro upínače. V další části byly rozebrány používané možnosti upnutí obrobků pro pětiosé obrábění a jejich hlavní charakteristiky. V poslední části byl uveden výběr českých i zahraničních firem, které ve svém sortimentu nabízejí dané přípravky.

V další části bakalářské práce byl uveden návrh samostředícího svěráku pro zadané hodnoty. Pro konstrukci byly použity poznatky získané v rešeršní části. Prvně byly vybrány dvě možné varianty a byla zvolena jedna z nich. Následně byla provedena kontrola pohybového mechanismu a s ním spojené části.





## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BRYCHTA, Josef. *Progresivní metody v obrábění: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2513-7.
- [2] ELUC- souřadnicové systémy. ELUC [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1293>
- [3] MAREK, Jiří. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. 3. vyd. Praha: MM publishing, 2014. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [4] Röhmm: NC CENTERING VICES [online], 2020. c2017 [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <https://www.roehm.biz/en/products/vices/nc-centering-vices/>.
- [5] Röhmm online shop. RZM [online]. c2017[cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://eshop247.roehm.biz/DE-en/rzm-11.html>
- [6] Kipp: 5osé upínače KIPPFlexX [online], 2020. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz>.
- [7] HEINRICH KIPP WERK GmbH & Co. KG [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Upínací-technika/Svěrák-upínací-technika/5osé-upínače-KIPPFlexX/5osé-upínače-KIPPFlexX-upínací-čelisti-hladké.html>
- [8] HEINRICH KIPP WERK GmbH & Co. KG [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Upínací-technika.html>
- [9] HEINRICH KIPP WERK GmbH & Co. KG [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Upínací-technika/Upínací-technika-s-nulovým-bodem/5osý-upínací-systém-modulu-80/5osý-základní-modul-UNI-lock-Velikost-systému-80-mm.html>
- [10] SMW Autoblok: GT5 5-Axis Machine Tools [online], 2020. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <http://www.stationary-workholding.com/index.php/en/eng-pro03>.
- [11] WALMAG MAGNETICS: Neopower [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://eshop.walmag.cz/Manufacturer/cs-CZ/34/permanentni-magneticky-upinac-neopower>
- [12] BORO VAN, Petr. Upínače nástrojů (10): Upínání nerotačních obrobků – 3. část [online]. 2012[cit. 2021-4-27]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-10-upinani-nerotacnich-obrobku-3-cast\\_18980.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-10-upinani-nerotacnich-obrobku-3-cast_18980.html)
- [13] BORO VAN, Petr. Upínače nástrojů (9): Upínání nerotačních obrobků – 2. část [online]. 2012 [cit. 2021-4-27]. 2012Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-9-upinani-nerotacnich-obrobku-2-cast\\_19246.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-9-upinani-nerotacnich-obrobku-2-cast_19246.html)
- [14] BORO VAN, Petr. Upínače nástrojů (11): Upínání nerotačních obrobků – 4. část [online]. 2012 [cit.2021-4-27]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-11-upinani-nerotacnich-obrobku-4-cast\\_19072.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-11-upinani-nerotacnich-obrobku-4-cast_19072.html)
- [15] How to Choose the Right Work Holding Device for 5-Axis Machining. *Triumph Tool* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.triumphtool.com/metal-working-tools-blog/how-to-choose-the-right-work-holding-device-for-5-axis-machining/>

- [16] Raptor Workholding Products [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.raptorworkholding.com>
- [17] RWP-003-4X [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.raptorworkholding.com/images/stories/virtuemart/product/rwp003-4x-raptor-nest-dovetail-fixture.jpg>
- [18] Triag International AG [online]. 2021 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.triag-int.ch/en>
- [19] Ekonomické upínání obrobků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2009, , 52 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: [http://www.sktechnik.cz/dokumenty/clanky/clanek\\_triag.pdf](http://www.sktechnik.cz/dokumenty/clanky/clanek_triag.pdf)
- [20] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky pomocná učebnice pro školy technického zaměření: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Páté upravené vydání. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [21] *Kemper: CuSn8* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.kemper-olpe.de/cz/oblasti-cinnosti/pasy/material/bronz/cusn8/?L=0>
- [22] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

## 7 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

### 7.1 Seznam tabulek

Tabulka 3-1 Rozměry lichoběžníkového závitu Tr30x6[20] .....	28
Tabulka 3-2 Mechanické vlastnosti CW453K [21] .....	29
Tabulka 3-3 Součinitele tření v závitech pro různé dvojce materiálů [22] .....	30
Tabulka 3-4 Závislost upínací síly a momentu .....	31
Tabulka 3-5 Mechanické vlastnosti C55E [20].....	31
Tabulka 3-6 Parametry šroubu M10x20[22].....	34
Tabulka 3-7 Parametry závitu M5[20] .....	37

### 7.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 Souřadnicový systém [2] .....	17
Obrázek 2 NC středící svěrák RZM firmy Röhm [5] .....	20
Obrázek 3 Upínač firmy Kipp KIPPflexX [7] .....	20
Obrázek 4 Svěrák firmy SMW Autoblok pro pětiosé obrábění GT5 [10] .....	21
Obrázek 5 Magnetický upínač Neopower firmy WALMAG [11].....	21
Obrázek 6 Upínací přípravek RWP-003-4X Raptor Nest[17] .....	22
Obrázek 7 Modulární systém powerCLAMP [18].....	22
Obrázek 8 Typy konstrukčních řešení a) První řešení b) Druhé řešení .....	23
Obrázek 9 Model svěráku .....	24
Obrázek 10 Základní těleso.....	25
Obrázek 11 Držák čelisti.....	26
Obrázek 12 Závitová hřídel.....	26
Obrázek 13 Čelist .....	27
Obrázek 14 Přírubová matice.....	27
Obrázek 15 Středová podpora.....	28
Obrázek 16 Rozměry trapézové matice .....	29
Obrázek 17 Délkové rozměry závitu pro výpočet.....	32
Obrázek 18 Spojení matice s pohyblivou částí svěráku.....	34
Obrázek 19 Tlakový dvojkužel spojovaný částí .....	35



## PŘÍLOHY

Výkres držáku čelisti	01_Drzak_Celisti
Výkres středové podpory	02_Stredova_Podpora
Výkres základny	03_Zakladna
Výkres sestavy samostředícího svěráku	04_Samostredici_Sverak
Kusovník sestavy	04_Samostredici_Sverak_Kusovnik
Model svěráku ve formátu STP	Svěrák samostředící.stp